

Dr. W. D i e m i n g e r .

a. Von den beiden Möglichkeiten der Standortbestimmung mittels drahtlosen Wellen ist im Gebiet der Kurzwellen bisher in grösserem Umfang nur die Richtungsbestimmung angewandt worden. Über die dabei auftretenden Schwierigkeiten und die bisher erzielten Ergebnisse wurde bereits berichtet. Die andere Möglichkeit, den Standort durch Messung der Laufzeit elektrischer Wellen vom Sender zum Empfänger zu bestimmen, ist wohl gelegentlich versucht worden, aber nie zum praktischen Einsatz gekommen. Über die Schwierigkeiten, die einer allgemeinen Anwendung dieses Verfahrens entgegenstehen und einige Möglichkeiten, sie zu überwinden, soll hier berichtet werden.

Grundsätzlich gibt es zur Entfernungsbestimmung zwei Möglichkeiten: Die Impuls- und die Phasenmethode.

Beide Methoden kann man mit Hin- und Rücksendung oder als Hyperbelverfahren ausbilden. Die Technik dieser Verfahren darf hier als bekannt vorausgesetzt werden.

Um zwei Beispiele aus dem UKW-Gebiet zu nennen: Mittels Phasemessung mit Hin- und Rücksendung arbeitet das Y-Verfahren, mit Impulslaufzeitmessung nach der Hyperbelmethode das englische 1324.

Es soll zunächst überlegt werden, welche von den genannten Verfahren für Kurzwelle aufgrund der Ausbreitung infrage kommen. Bei Kurzwelle muss man praktisch in allen Fällen mit dem gleichzeitigen Auftreten mehrerer Ausbreitungswege rechnen, z.B. mit der Bodenwelle und Übertragung über die F-Schicht oder mit Übertragung oder ähnlichen Kombinationen. Bei der Impulsortung entspricht jedem Ausbreitungsweg ein getrennter Impuls, es ist also eine Auflösung der verschiedenen Wege möglich. Bei der Phasenortung bilden am Empfangsort die verschiedenen Phasenzustände, die den einzelnen Ausbreitungswegen entsprechen, eine resultierende Phase, die sich nachträglich nicht mehr hinsichtlich der einzelnen Wege trennen lässt. Damit hängt die Phasenlage nicht mehr eindeutig von der Entfernung ab. Die Phasenmethode scheidet

damit für die KW-Navigation aus.

Wir wollen uns daher im Weiteren auf das Impulsortungsverfahren beschränken und überlegen, inwieweit die Genauigkeit des Verfahrens durch die Art der Ausbreitung beeinträchtigt wird und ob es daher Aussicht auf Erfolg bietet.

Bei Kurzwellen pflegt man mit der Bodenwelle meist garnicht zu rechnen, da ihre Reichweite gegenüber der Raumwelle unbedeutend ist. Wir wollen uns aber doch einmal überlegen, welche Reichweiten besonders bei Ausbreitung über See zu erwarten sind.

Im Bild 1 ^{S. 43} sind für Ausbreitung über Land und See die Reichweite in Abhängigkeit von der Frequenz bei einer Empfängerempfindlichkeit von 10 u V/m und für verschiedene Sendeleistungen aufgetragen. Man erkennt, dass die Bodenwellen-Reichweiten in beiden Fällen umso grösser werden, je länger die Welle wird. Über Land betragen die Reichweiten für Kurzwellen je nach Wellenlänge und Leistung 100 - 350 km, sind also praktisch ohne Interesse. Dem Übergang auf längere Wellen steht entgegen, dass diese teilweise anderweitig stark belegt sind, z.B. durch Rundfunk und dass bei den längeren Wellen die Herstellung und der Empfang genügend kurzer Impulse wegen der erforderlichen Bandbreite immer schwieriger wird. Bei Ausbreitung über See sind die Verhältnisse wesentlich günstiger. So erhält man bei einer Frequenz von 3 MHz = 100 m und 100 KW eine Reichweite von rd. 1000 km. Geht man kurz unterhalb des Rundfunkbereichs auf 1,5 MHz = 200 m, so erhält man 1300 km.

Das sind Reichweiten, die durchaus diskutabel erscheinen. Die Senderleistung von 100 KW-Impulsspitze ist heute am Boden darstellbar. Bei der Rücksendung vom Flugzeug aus kommt man mit wesentlich geringeren Energien aus, wenn man am Empfangsort eine Richtantenne anwendet. Ergibt die Antenne eine Verstärkung um den Faktor 10, so genügt 1/100 der Sendeenergie im Flugzeug, das ist 1 KW, eine Leistung, die von anderen Bordgeräten bereits erheblich übertroffen wird. Das Gebiet, das sich z.B. in der Biskaja damit überdecken liesse, ist in dem nächsten Bild ^{S. 55} eingezeichnet. Der Einsatz käme in erster Linie nachts infrage als Ersatz

für das Verfahren Elektra-Sonne, das bekanntlich dann infolge der Raumstrahlung ungenau wird.

Es ist anzunehmen, dass bei einer Wellenlänge von 100 - 200 m und Seeausbreitung überhaupt das Optimum der Reichweite liegt, da bei längeren Wellen die Zunahme der Reichweite aufgrund der Ausbreitung durch den Abfall des Antennenwirkungsgrades weitgehend kompensiert wird.

Wir wollen nun weiter überlegen, ob es möglich ist, auch mit den an der Ionosphäre reflektierenden Wellen Entfernungsmessungen mit der erforderlichen Genauigkeit zu machen. Dabei sind zwei Effekte zu berücksichtigen.

- 1.) Die Veränderung der Laufzeit durch seitliche Auslenkung und
- 2.) die Veränderung der Laufzeit durch Änderung der Reflexionshöhe.

Die seitliche Auslenkung oder Grosskreisabweichung entsteht bekanntlich dadurch, dass die reflektierende Schicht nicht horizontal liegt, sondern geneigt ist. Von oben gesehen, sieht der Ausbreitungsweg dann so aus, wie in Bild 3 ^{S. 64} angegeben. Es lässt sich einfach zeigen, dass dieser Effekt von untergeordneter Bedeutung ist. Bei einem Winkelfehler von 5° beträgt die Laufzeitzunahme etwa $1/2\%$ d.h. 5 km bei 1000 km Entfernung. Sie liegt damit in der Grössenordnung der Ablesegenauigkeit. Grössere Abweichungen vom Grosskreis sind aber relativ selten.

Von wesentlich grösserem Einfluss - wie wir sehen werden von entscheidendem Einfluss - ist die Änderung der Reflexionshöhe. Es ist klar, dass die Welle bei ihrem Weg von der Erde zur Ionosphäre und wieder zur Erde zurück eine Strecke zurücklegt, die grösser ist, als die wahre Entfernung auf der Erdoberfläche. Und zwar wird der Umweg umso grösser sein, je höher die reflektierende Schicht liegt. In Bild 4 ^{S. 64} sind für einige Entfernungen und zwar für 500, 1000 und 1500 km die Beträge des Umweges in km und in Prozente der Strecke in Abhängigkeit von der Reflexionshöhe aufgetragen. Man erkennt, dass die Änderung der gemessenen Entfernung bei veränderter Schichthöhe recht beträchtlich ist.

Wie sieht es nun mit der Änderung der Reflexionshöhe in der Praxis aus? Es ist bekannt, dass sich die Reflexionshöhe sowohl mit der Zeit, als auch mit der Frequenz beträchtlich ändert. Einen typischen Verlauf der Höhe in Abhängigkeit von der Frequenz zu einem bestimmten Zeitpunkt zeigt Bild 5 (linke Seite) ^{S. 65} und zwar ist dieses Bild gewonnen durch Änderung der Frequenz von 0,5 - 16 MF bei Lotung senkrecht nach oben. Die verschiedenen Reflexionsniveaux sind deutlich zu erkennen. Man kann nun dieses Ergebnis nach den Gesetzen der geometrischen Optik umrechnen für den Fall des schrägen Einfalls auf die Schicht, also für Fernübertragung, die uns hier ja interessiert.

(Bild 5, rechte Seite). S. 65

Auch hier erhält man erhebliche Höhenunterschiede für die verschiedenen Ausbreitungswege. Ausserdem erkennt man, dass an bestimmten Stellen gleichzeitig mehrere Übertragungswege auftreten. Dass das in der Praxis wirklich der Fall ist, zeigen Registrierungen, die bei Impulsübertragungen aufgenommen wurden.

(Bild 6 - 8). S. 65 u. 66.

Man erkennt auf ihnen deutlich, dass am Empfangsort mehrere Impulse ankommen, die den verschiedenen Ausbreitungswegen entsprechen. Ausserdem sind sie in ihrer Laufzeit erheblichen zeitlichen Änderungen unterworfen. Dabei treten nicht nur die der verschiedenen Schichten entsprechenden, vorhin gezeigten Ausbreitungswege auf, sondern auch Impulse, die mehrmals zwischen der Erde und den einzelnen Schichten hin- und hergelaufen sind. (Bild 9) ^{S. 67} Es ist einleuchtend, dass es bei einer kurzzeitigen Beobachtung nicht ohne weiteres möglich ist, die einzelnen Wege zu unterscheiden, umso mehr, als zeitweise durch Interferenz bestimmte Wege ausfallen können. Die Fehler, die durch Verwechslung der einzelnen Ausbreitungswegen entstehen, sind so gross, dass eine Ortung aussichtslos wird. Das haben eindeutig Versuche der DVL auf sehr grosse Entfernungen (rd. 7000 km) ergeben. Dabei wurde deutlich ein Umspringen zwischen zwei Werten beobachtet, je nachdem, ob die Messung mit der dreifachen oder vierfachen Reflexion erfolgte. Aber selbst wenn es gelingt, den Ausbreitungsweg eindeutig zu erkennen,

treten noch erhebliche Unsicherheiten auf, wenn die Übertragung über eine Schicht erfolgt, deren Höhe in erheblichen Grenzen schwankt, wie es z.B. bei der F-Schicht der Fall ist.

Günstiger sind die Verhältnisse bei der E-Schicht, deren Höhe sich im allgemeinen nur um 10 - 20 km ändert. Berücksichtigt man noch, dass mit flacher werdendem Einfallswinkel, also mit zunehmender Entfernung der Einfluss der Höhenänderung immer geringer wird, so kommt man bei E-Übertragung zu Genauigkeiten, die besser als ± 10 km sein werden. Voraussetzung ist dabei natürlich, dass man weiss, welches Zeichen der E-Übertragung entspricht.

Nun ist, wie man sich leicht überlegen kann, der Weg über die E-Schicht der kürzeste mögliche, wenn man von der Bodenwelle absieht. Wenn also überhaupt E-Übertragung vorhanden ist, so ist immer das erste ankommende Zeichen das von der E-Schicht übertragene.

Wann und auf welchen Frequenzen E-Reflektionen zu erwarten ist, weiss man heute recht genau aufgrund der dauernden Überwachung der Ionosphäre. Dabei ergibt sich, dass für mittlere Entfernungen der Frequenzbereich, in dem sie auftritt, tagsüber wesentlich breiter ist, als man üblicherweise annimmt. Das wird besonders deutlich, wenn man sich eine auf Fernübertragung umgerechnete Durchdrehaufnahme ansieht (Bild 5)^{S. 65}. Das gleiche Ergebnis zeigt eine Statistik der Fernübertragung, mit festen Frequenzen, wie sie im nächsten Bild (Bild 10)^{S. 67} wiedergegeben ist.

Dabei ist hier die Frequenz durchaus noch nicht auf optimale E-Übertragung ausgewählt. Man erkennt aber auch deutlich, dass während der Nacht mit regelmässigen E-Übertragungen nicht gerechnet werden kann. Hier tritt sie nur auf, wenn abnormale E-Schicht vorhanden ist und mit dieser ist bekanntlich nicht sicher zu rechnen. Ein Teil dieser Schwierigkeiten, die durch die Unsicherheit des Übertragungsweges entstehen, kann man durch das Hyperbelverfahren vermeiden. Während nämlich bei der Hin- und Rücksendung die absolute Höhe der reflektierenden Schicht eingeht, muss beim Hyperbelverfahren lediglich die Forderung erfüllt sein, dass die sich entsprechenden Reflexionspunkte in der gleichen Höhe liegen. Es setzt

also lediglich eine genügende Gleichmässigkeit der Ionosphäre voraus. Diese Forderung wird um so besser erfüllt sein, je näher die beiden Reflexionspunkte beisammenliegen, d.h. aber je kleiner der Abstand der beiden Sender ist. Dies widerspricht aber der Forderung nach grosser Genauigkeit, die eine grössere Basis voraussetzt. Hier muss also ein Kompromiss geschlossen werden. Besonders sei aber noch auf folgende Punkte hingewiesen:

- 1.) In der Morgen- und Abenddämmerung tritt eine erhebliche Neigung der Linien gleichen Ionisation in Ost-West-Richtung auf. Die Reflexionspunkte können dann also in merklich verschiedener Höhe liegen. Man müsste diese Zeit demnach ausschliessen.
- 2.) Beim Auftreten von örtlicher abnormaler E-Schicht wird häufig der Fall eintreten, dass der eine Strahl an der E-Schicht, der andere an der F-Schicht reflektiert wird. Damit entstehen aber erhebliche Fehler.

Schliesslich kann aber auch bei absolut gleichmässiger Ionosphäre der Fall auftreten, dass die Reflexion an verschiedenen Schichten erfolgt, wenn nämlich der Abstand des Flugzeuges von der einen Basisstation wesentlich kleiner ist, als von der anderen. Es kann dann auf der längeren Strecke mit dem flacheren Einfallswinkel noch die Ionisation der E-Schicht zur Reflexion ausreichen, während der kürzere Weg wegen des steileren Einfalls über die F-Schicht erfolgt. Man wird deshalb die Anwendung des Verfahrens auf einen Sektor um die Mittelsenkrechte der Antennenebene herum beschränken müssen.

Von diesen Einschränkungen käme man frei, wenn man ein Verfahren hätte, das gestattet, zu unterscheiden, ob ein Impuls von der E-Schicht oder einer anderen herkommt. Dies würde einmal die Ausnutzung der abnormalen E-Schicht gestatten und ausserdem noch eine laufende Kontrolle bei der normalen E-Schicht ermöglichen. Denn es ist ja immerhin denkbar, dass auch die normale E-Übertragung durch Schwund gelegentlich für kurze Zeit einmal ausfällt. Es ergeben sich hierfür grundsätzlich drei Möglichkeiten.

Erstens ist anzunehmen, dass charakteristische Unterschiede in der Polarisation vorhanden sind, je nachdem ob die Übertragung über die E- oder F-Schicht erfolgt. Während nämlich bei der F-Übertragung im allgemeinen eine Aufspaltung in zwei Komponenten zu beobachten ist, die bei geringer Auflösung zu regelmässigen Interferenzen Anlass geben, ist die Absorption der beiden Komponenten in der E-Schicht so verschieden, dass die Polarisation der einen Komponenten überwiegt. Entsprechende Versuche, ob dieser Effekt praktisch ausnützlich ist, sind im Gange. Die zweite Methode gründet sich auf der Tatsache, dass bei der F_1 - und F_2 -Schicht die Reflexionshöhe sich stark mit der Frequenz ändert, während das bei der E-Schicht nicht der Fall ist. Auch hier muss der Versuch über die Brauchbarkeit entscheiden.

Die dritte Möglichkeit besteht in einer Messung des Einfallswinkels der ankommenden Wellen. Es lässt sich zeigen, dass bereits eine Winkelmessung auf etwa 5° genau eine Unterscheidung zulässt, ob die Entfernung über die E-Schicht oder über die F-Schicht gemessen wurde.

Gelingt es, die Genauigkeit der Winkelbestimmung auf etwa 1° zu steigern, so besteht sogar die Möglichkeit, die F-Übertragung für die Entfernungsmessung mit auszunützen. Denn die gleichzeitige Bestimmung der Echolaufzeit und des Einfallswinkels ermöglicht in vielen Fällen eine eindeutige Konstruktion des Übertragungsweges und damit die Ermittlung der gesuchten Entfernung auf der Erdoberfläche.

Vergleicht man die drei genannten Verfahren miteinander, so ergibt sich folgendes:

Für die Anwendung im Flugzeug kommt nur das 2. in Frage, da der Aufbau von Antennenanlagen zur Bestimmung der Polarisation oder des Einfallswinkels auf einem Flugzeug nicht möglich erscheint. Das 3. Verfahren ist wohl das, dessen Erfolg sich schon jetzt übersehen lässt. Dass es nur am Boden anwendbar ist, macht es nicht unbedingt wertlos. Denn in der Praxis dürfte es bei der Hin- und Rücksendung zum Flugzeug genügen, den einen Weg bezüglich des Einfallswinkels zu überwachen, da wegen der Reziprozität damit zu rechnen ist, dass der umgekehrte Weg über die gleiche

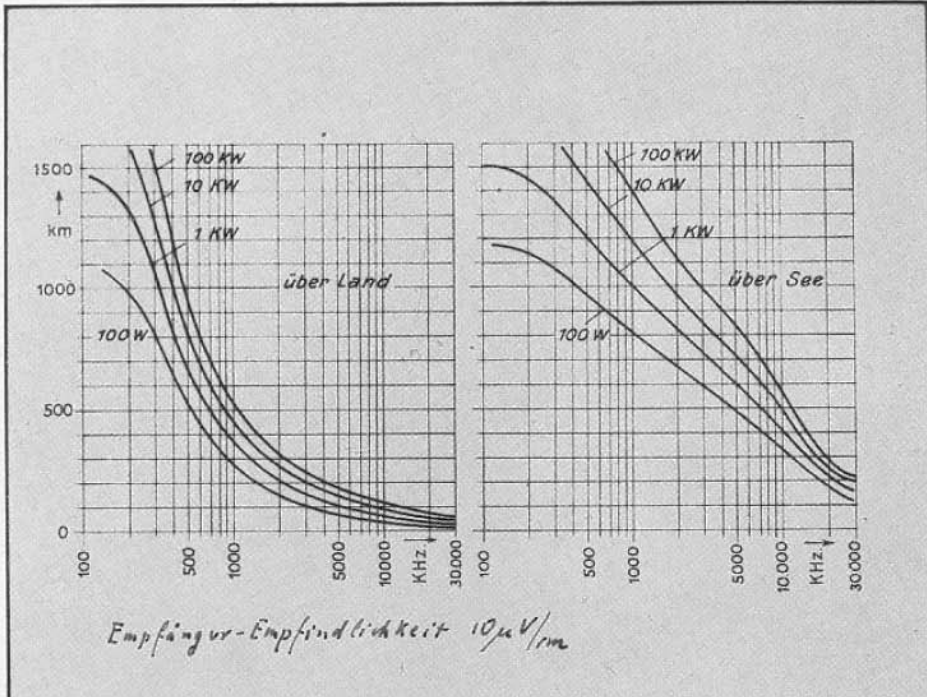
nicht erfolgt. Um in dieser Beziehung volle Sicherheit zu haben, könnte man an ein Hyperbelverfahren denken, bei dem das Flugzeug an zwei Bodenstellen gleichzeitig die Laufzeitdifferenz und der Höheneinfallswinkel bestimmt wird. Ein solches Verfahren würde Fehler durch Verwechslung des Übertragungsweges oder durch Änderung der Reflexionshöhe einschränken.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Für Laufzeitortung auf Kurzwelle ist aus Ausbreitungsgründen nur das Impulsverfahren geeignet. Die Hauptschwierigkeit, die dabei auftritt, ist die Ungewissheit über den Ausbreitungsweg. Es gibt jedoch einige Möglichkeiten, diese Unsicherheit zu vermindern, wobei die Messung des Einfallswinkels die aussichtsreichste erscheint.

Zum Schluss sei noch eine kurze Übersicht über die Arbeiten gegeben, die - soweit bekannt - an den verschiedenen Stellen auf diesem Gebiet laufen.

Eine Versuchreihe mit Hin- und Rücksendung läuft bei der Zentralstelle für Funkberatung in Vöslau. Sie hat im Wesentlichen ergeben, dass gerätemässig eine ausreichende Genauigkeit zu erreichen ist, wenn nur der Ausbreitungsweg bekannt ist. Ein Grossversuch mit dem Hyperbelverfahren läuft beim Flugfunkforschungsinstitut in Perpfaffenhofen. Hierüber wird Stabsing. Mattes gesondert berichten. Auf die zu erwartenden ausbreitungsbedingten Schwierigkeiten wurde bereits hingewiesen. Von dem Verfahren zur Feststellung des Ausbreitungsweges wird die Untersuchung der Polarisation bei Prof. Malsch in Köln und bei der Zentralstelle für Funkberatung durchgeführt. An den gleichen Stellen laufen auch Versuche zur Bestimmung des Einfallswinkels. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um eine Anpassung bekannter Methoden an die Impulstechnik. Neuerdings wurde auch auf die Anlagen der Fa. Telefunken zurückgegriffen, mit denen vor dem Kriege in Brück derartige Messungen an Überseesendern durchgeführt wurden. Nicht bearbeitet wird z.Zt. die Auswertung der verschiedenen Frequenzabhängigkeit der Höhe bei den einzelnen Schichten.

Angesichts der erheblichen Schwierigkeiten, die der Laufzeitmessung auf Kurzwelle entgegenstehen, erhebt sich die Frage, ob eine Weiterarbeit auf diesem Gebiet sich überhaupt lohnt. Demgegenüber ist festzustellen, dass die Anwendung der Kurzwelle wohl die einzige Möglichkeit darstellt, Funknavigation auf grosse und grösste Entfernungen durchzuführen. Es erscheint daher berechtigt, jeden Weg zu versuchen, der einige Aussicht auf Erfolg bietet, oder aber auf Funknavigation für diese Entfernungen überhaupt zu verzichten.



①

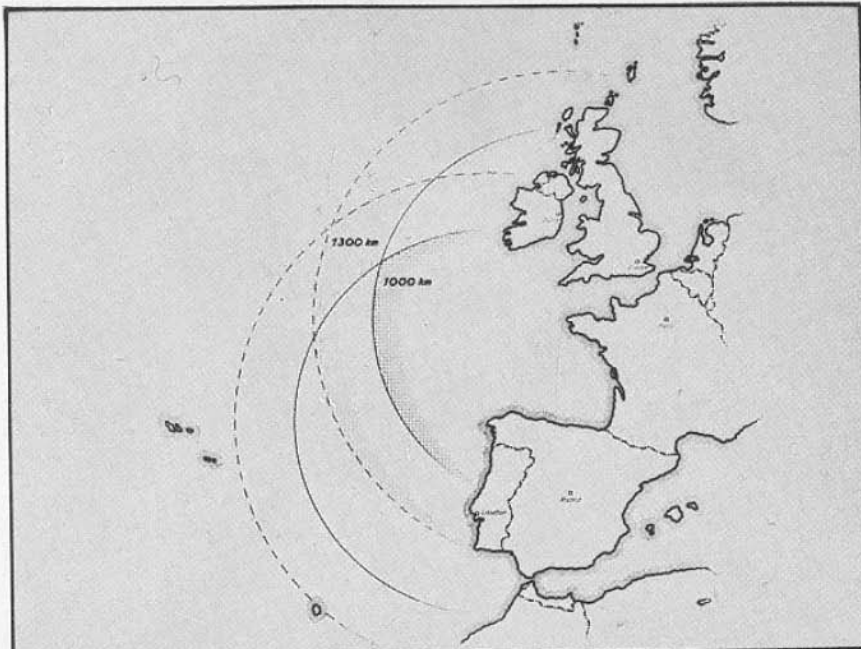
Bez. Kk. Dat. 13.3.44
Sachbearb.
Leit. Ing.

**Reichweite der Bodenwelle
über Land und See**

Zentralstelle
Funkberatung

Nr. I/570

zu S. 55



②

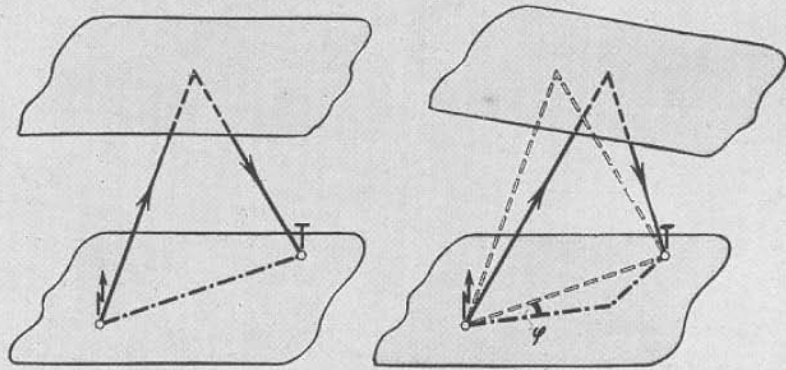
Bez. Kk. Dat. 10.3.44
Sachbearb.
Leit. Ing.

**Navigationbereich
bei 1000 und 1300 km Reichweite**

Zentralstelle
Funkberatung

Nr. I/568

zu S. 55



3

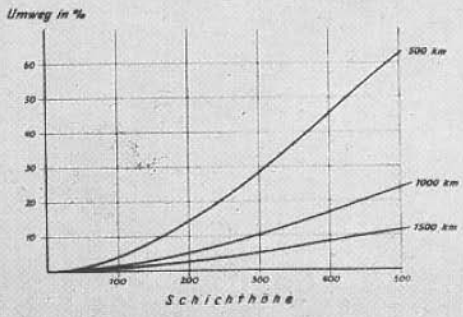
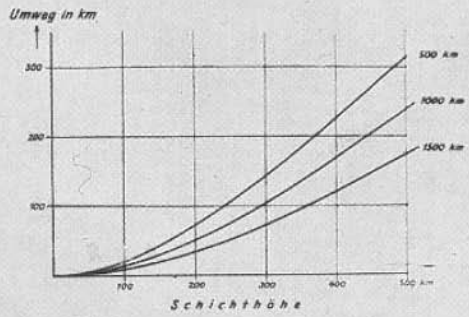
zu S. 56

Bez. Nr. Dat. 11.3.68
Sachbearb.
Leit. Ing.

Großkreisabweichung bei Schichtneigung
Schematisch

Zentralstelle für Funkberatung

Nr. I/569



4

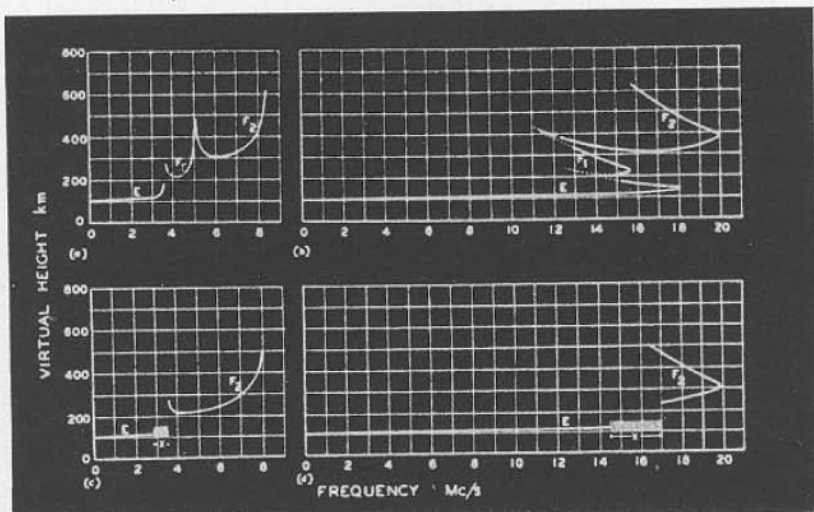
zu S. 56

Bez. Nr. Dat. 11.3.68
Sachbearb.
Leit. Ing.

Differenz zwischen wahrer Entfernung u. über die Ionosphäre gemessener Entfernung.

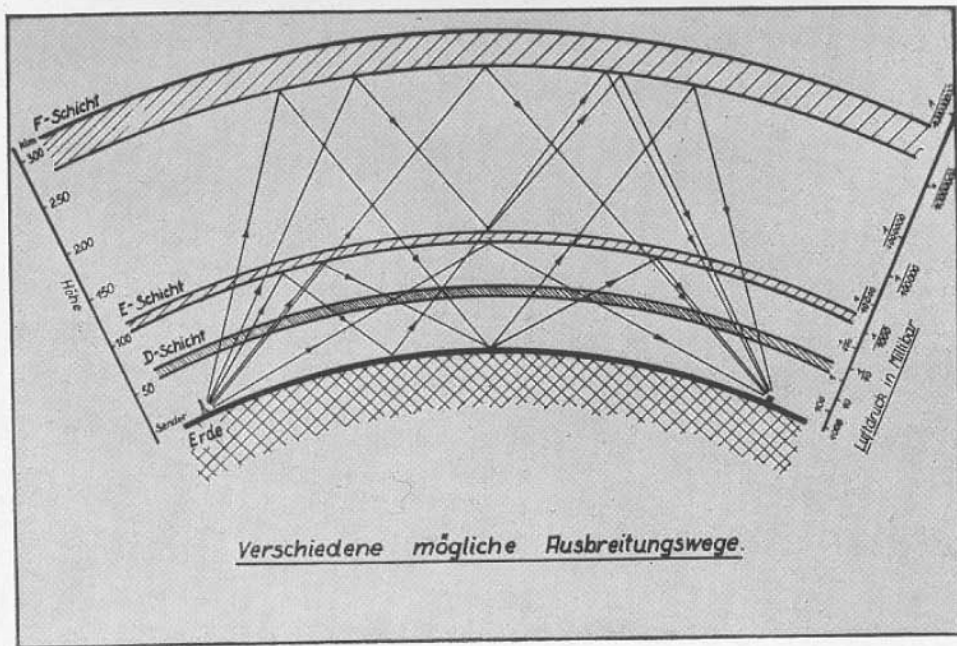
Zentralstelle für Funkberatung

Nr. I/571



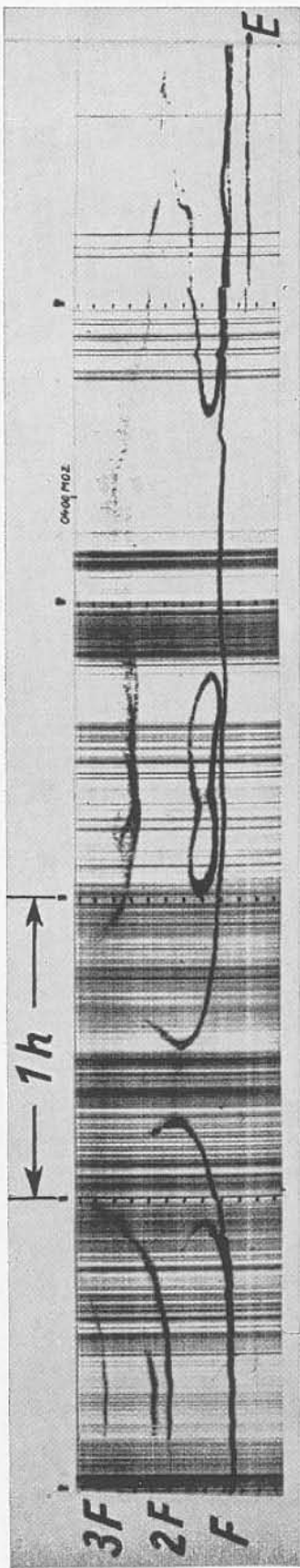
5

zu S. 57+58



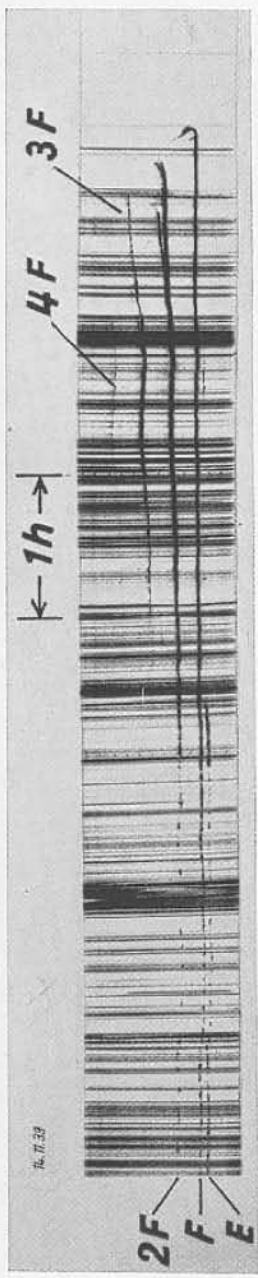
6

zu S. 57



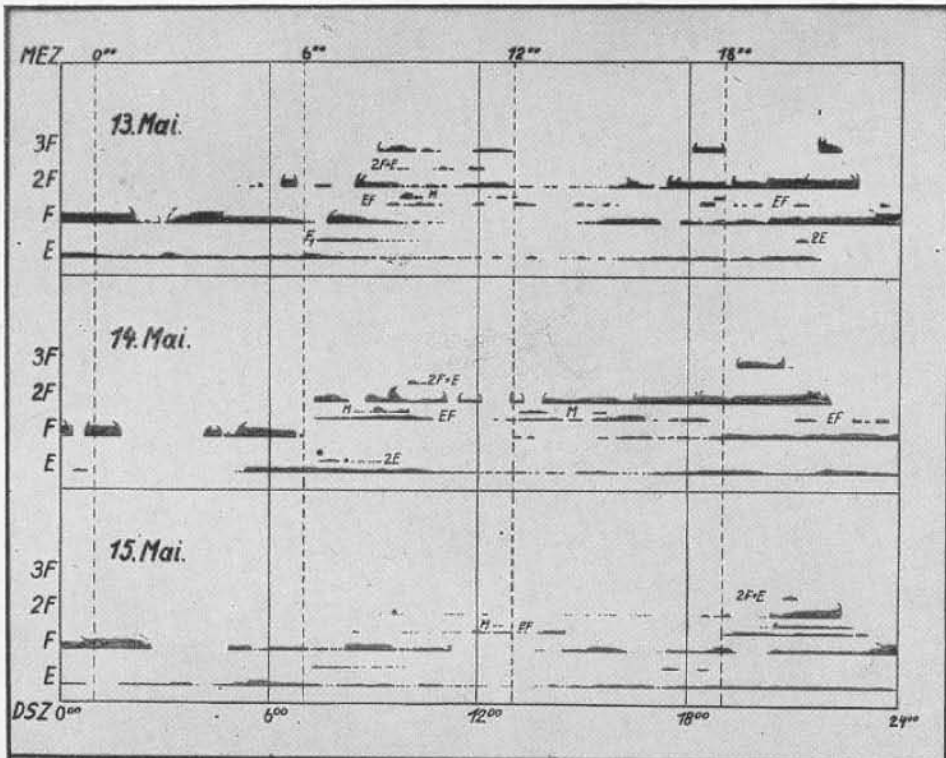
7

24 S. 57



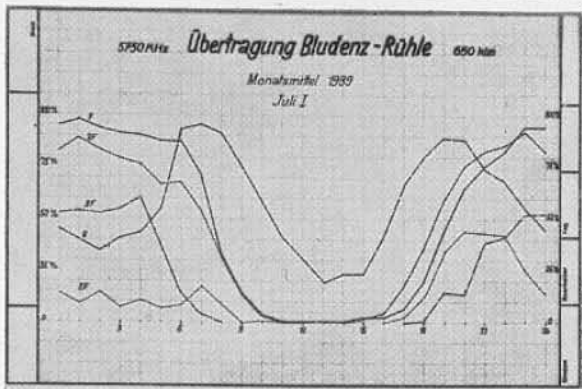
8

24 S. 57



(9)
zu S. 57

gez. Bay/Cr. Dat. 13.5.43	Auswertung Quarzuhr-Fernübertragung Böck-Nikolajew 13.-15.5.43 1500 km 8,6 MHz	Zentralstelle für Funkberatung	Nr. VIII 529
Sachbearb.:			
Leit. Ing.:			



(10)
zu S. 58

